Mario E. Bertoletti *

Economía de la información **

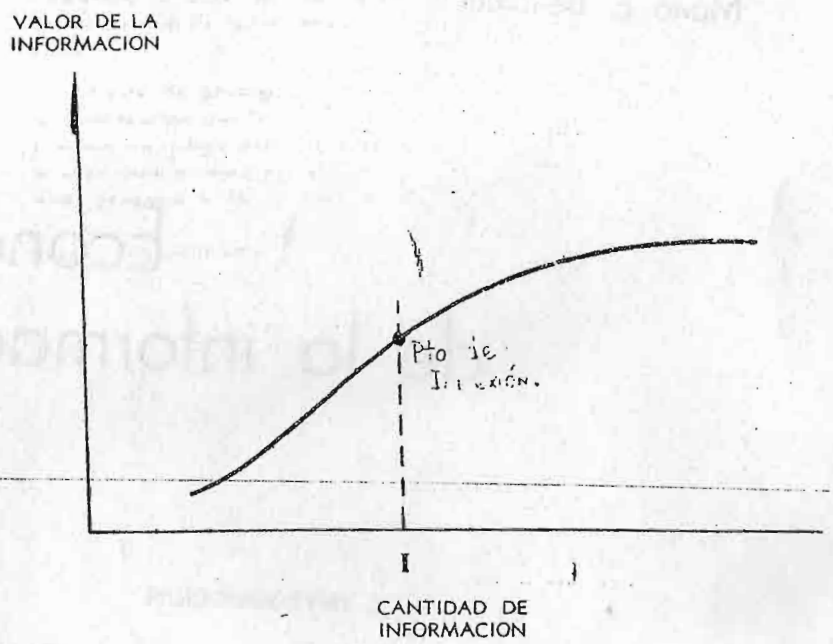
I. INTRODUCCION

La información es un recurso que tiene una organización. Entendemos aquí por *organización* cualquier formación social orientada hacia fines concretos. Dentro de esta amplia definición caben grupos sociales tan diversos como empresas comerciales, hospitales, ministerios, universidades, prisiones, sindicatos obreros, clubs sociales, partidos políticos e iglesias. La característica de toda organización es que utiliza recursos diversos para alcanzar ciertos *fines específicos*. Los fines pueden ser ganancias, tasas de crecimiento e imagen de empresa para una empresa industrial; o influencia política y número de afiliados para un partido. Los *objetivos* de cada organización dependen de su naturaleza.

También los *recursos* de una organización son muy diversos. En el caso de una empresa comercial los edificios, los empleados y la publicidad son recursos que se pueden utilizar, entre otros, para alcanzar los fines de utilidad y crecimiento. La *información* es otro recurso de que se dispone. Todo recurso se caracteriza porque tiene un *valor* y un *costo*. Su valor es la contribución a alcanzar los objetivos de la organización. La publicidad tiene un valor porque contribuye a las mayores ventas de la empresa, que a su vez son la base de las ganancias y el crecimiento. Pero todo recurso tiene también un costo. La publicidad cuesta porque tiene gastos de producción y costo de compra de espacio en medios como T.V., revistas o carteleras en vía pública.

(*) Ingeniero industrial. Profesor de la Facultad de Ingeniería, Universidad de Buenos Aires. Director de AD Asesores de Dirección.

(**) Reproducción autorizada por la Oficina Intergubernamental para la Informática de la Unesco; forma parte del libro Curso Latinoamericano de Sistemas de Información para la Conducción (MITS 70). Editado en 1970.



1. Rendimiento decreciente de la información.

La información es un recurso de la organización, y por lo tanto también tiene un valor y un costo. El tema *economía de la información* se refiere al valor, al costo y a la utilidad de la información, definiendo utilidad de la información como la diferencia entre el valor y el costo de la información.

Como casi todos los otros recursos de una organización, la información presenta el conocido fenómeno de los *rendimientos decrecientes*: pasado un cierto nivel de información, incrementos de ella producen incrementos del valor de la información cada vez menores. Esto se representa gráficamente en la ilustración Nº 1, donde se aprecia que pasando la cantidad de información *I* la pendiente de la curva disminuye a medida que aumenta la información.

Naturalmente, a toda organización le interesa diseñar sistemas de información *óptimos*, que son aquellos para los cuales el valor marginal de la información iguala a su costo marginal. De tal forma la utilidad marginal de la información es nula: hemos incrementado la información hasta que el valor de una cantidad de información adicional iguala al costo de esa información adicional.

Antes de proseguir, veamos un ejemplo elemental que demuestra cómo la información puede tener un valor y un costo. Supongamos que alguien nos propone un juego que consiste en arrojar una moneda sin que nosotros veamos si cayó cara o ceca; y que nosotros tratemos de adivinar el resultado. Si acertamos, ganamos $ 10; si nos equivocamos, no ganamos nada.

Este es un juego muy particular, con ventaja para nosotros. Es evidente que repetido un número grande de veces nos dará una ganancia cierta. Es más, hasta podemos estimar cuánto ganaremos: como acertaremos aproximadamente la mitad de las veces, ganaremos en promedio unos $ 5 por jugada. Si jugamos el juego 1.000 veces, ganaremos aproximadamente $ 5.000.

Dada esta situación, supongamos ahora que una persona nos ofrece "vendernos información": si le pagamos $ 3 por jugada, nos dirá por anticipado si la moneda salió cara o ceca. Naturalmente, esta información es valiosa para nosotros: sabiendo antes de declarar cómo cayó la moneda, estamos en condiciones de ganar siempre. Si la persona que nos vende la información es confiable, nunca nos equivocaremos. Anunciaremos siempre lo correcto, "cara" cuando la moneda haya salido cara, "ceca" cuando la moneda haya salido ceca. Por lo tanto ganaremos $ 10 por jugada.

Ahora estamos en condiciones de estudiar la economicidad de tal información. ¿Cuánto vale la información que nos ofrecen? Vale la diferencia entre nuestra ganancia si aceptamos la oferta y nuestra ganancia en la situación original. Con la información estamos en condiciones de ganar $ 10 por jugada; sin la información ganábamos $ 5 por jugada. Por lo tanto el *valor* de la información es de $ 10 — $ 5 = $ 5 por jugada. Por otra parte, el costo de la información es de $ 3 por jugada, según la oferta original. Por lo tanto llegamos al siguiente "estado de resultados":

Valor de la información	$	5 por jugada
— Costo de la información	„	3 por jugada
Utilidad de la información	$	2 por jugada

Nos conviene comprar la información porque con ella tenemos una ganancia de $ 2 por jugada. En lugar de ganar $ 5 por jugada ganaremos $ 7 por jugada (igual a $ 5 que ganábamos antes más los $ 2 de ganancia por jugada provista por la compra de información. Otra forma de verlo es que $ 7 es la diferencia entre $ 10 y $ 3, que son respectivamente la ganancia y el costo por jugada cuando se compra información).

Si bien el ejemplo que acabamos de ver es extremadamente simple, contiene la idea central del aspecto económico de la información. La información tiene valor porque reduce nuestra incertidumbre acerca de la naturaleza del mundo que nos rodea. Cuando se tira una moneda, ignoramos si salió cara o ceca. Tenemos incertidumbre con respecto a un estado de cosas que nos interesa. Cuando en el ejemplo compramos información, *reducimos esa incertidumbre.* Es más, en este caso particular no solamente la reducimos sino que la eliminamos por completo. La información transforma nuestra incertidumbre en certeza: que la moneda salió cara o que salió ceca. *Esa es la función y ése es el valor de la información: reducir nuestra incertidumbre acerca del mundo que nos rodea, y por lo tanto permitirnos tomar mejores decisiones.* Al elegir cara o ceca en el ejemplo, estamos decidiendo. Sin la información ofrecida, nuestra decisión es mediocre: acertamos la mitad de las veces. Con la información ofrecida, nuestra decisión mejora radicalmente: siempre decidimos correctamente. Y una mejor decisión tiene por lo general un mayor valor: ganamos más decidiendo bien que decidiendo mal. La información es económicamente conveniente siempre que el incremento de valor de una mejor decisión exceda el costo de la información.

La información reduce la incertidumbre porque *afirma uno de varios mensajes distintos posibles*. Antes de disponer de la información, tenemos dudas acerca de cuál es el mensaje que recibiremos. Recibido el mensaje, sabemos que ése es el verdadero y no los otros, y en eso consiste la reducción de la incertidumbre. En el ejemplo de la moneda, hay dos mensajes alternativos posibles: "la moneda salió cara" y "la moneda salió ceca". Al comprar información, recibimos uno de esos dos mensajes. Nuestra incertidumbre disminuye porque ahora sabemos cuál de los dos mensajes posibles es cierto.

Lo visto hasta aquí puede resumirse así:

1. La información es un recurso de toda organización, que tiene un valor y un costo.
2. La información reduce la incertidumbre porque consiste en la transmisión de un mensaje entre varios mensajes posibles.
3. La información tiene valor porque reduce nuestra incertidumbre acerca del mundo que nos rodea, y a su vez porque la reducción de la incertidumbre nos permite tomar mejores decisiones que acercan más los resultados a los objetivos de la organización.
4. La dimensión de un sistema de información es óptima cuando el valor incremental de la información iguala a su costo incremental.

II. VALOR DE LA INFORMACION

En esta sección nos ocuparemos de describir los métodos sobre la base de los cuales se juzga el valor de la información. En primer lugar introduciremos un modelo cuantitativo de gran valor conceptual, y de valor práctico en numerosos casos de procesos de decisión de bajo nivel que tengan las características de repetitivos y formalizables. En segundo lugar, describiremos los aspectos cualitativos que guían la evaluación y el diseño de sistemas de información en la mayor parte de los casos de la vida real.

Ya vimos más arriba que la información tiene valor porque nos permite reducir la incertidumbre y mejorar la calidad de nuestras decisiones. Por eso debemos comenzar por repasar la teoría de los procesos de decisión y ver a continuación la estructura de la información.

2,1. TEORIA DE LA DECISION

La tarea fundamental del directivo, del ejecutivo, del funcionario o de cualquier otro responsable es *decidir*. Por eso debemos profundizar cuál es el mecanismo íntimo de todo proceso de decisión.

Ante todo, ¿qué es una decisión? ¿Qué es decidir? Podemos decir que *decidir es elegir uno entre varios modos alternativos de actuar*. Hay que decidir cuándo hay que hacer algo, pero hay más de una manera diferente de hacerlo. La decisión es una elección. Del proceso de decisión surge una determinada información que comunica a alguien (puede ser al mismo decididor) qué es lo que debe hacerse.

Sea entonces a_i una alternativa particular de un conjunto A de n alternativas posibles, donde n es igual o mayor que 2. Cada a_i es, en el caso general, un vector que representa un conjunto de actos concretos. Por ejemplo,

a_1 = (emplear 40 hombres, comprar 10 máquinas)

es una alternativa posible representada por un vector de dos elementos. Dentro del mismo problema, otra alternativa posible sería

a_j = (emplear 15 hombres, comprar 12 máquinas)

Otra de las alternativas puede ser, evidentemente, no hacer nada.

Por otra parte, sea E_j un *estado de la naturaleza* particular de un conjunto E de m estados posibles. Cada E_j es, en el caso general, un vector que representa un conjunto de variables del entorno. Por ejemplo,

E_j = (la demanda es de 650 Kg, el precio de mercado de 75 pesos/Kg, los recargos de importación no cambian)

es un estado de la naturaleza posible representado por un vector de tres elementos. En un problema concreto, los elementos que se incluyen son aquellos que describen en forma relevante los aspectos importantes del entorno. El número m de estados de la naturaleza que se toman en consideración se limita a aquellos que tienen una probabilidad de ocurrencia no despreciable.

Cada combinación *alternativa-estado de la naturaleza* (a_i, E_j) representa un posible *acontecimiento*. Supondremos que la organización puede asignar un *valor* o *utilidad* u_{ij} a cada acontecimiento posible. De esta forma queda definida la matriz de decisión de $n \times m$ elementos de la ilustración Nº 2.

Alternativas	Estados de la naturaleza					
	E_1	E_2	...	E_j	...	E_m
a_1	u_{11}	u_{12}	...	u_{1j}	...	u_{1m}
a_2	u_{21}	u_{22}	...	u_{2j}	...	u_{2m}
.	.	.		.		.
.	.	.		.		.
.	.	.		.		.
a_i	u_{i1}	u_{i2}	...	u_{ij}	...	u_{im}
.	.	.		.		.
.	.	.		.		.
.	.	.		.		.
a_n	u_{n1}	u_{n2}	...	u_{nj}	...	u_{nm}

2. Matriz de decisión.

Introduciremos un ejemplo simple para ilustrar las difiniciones anteriores y los desarrollos que seguirán. Sea el caso de una empresa que fabrica y comercializa un nuevo producto de consumo masivo y que tiene que decidir la asignación de su presupuesto de publicidad y promoción a una de tres alternativas posibles

a_1: asignar el presupuesto a medios masivos de publicidad, como T.V., gráfica o radio;

a_2: asignar el presupuesto en forma equilibrada entre medios masivos y promoción en comercios minoristas;

a_3: asignar el presupuesto totalmente a promoción en comercios minoristas (publicidad en el local, vidrieras, descuentos promocionales, etc.).

Estas son las alternativas que se consideran. Se ve que cada alternativa es un vector de dos elementos (publicidad masiva, promoción).

La empresa considera dos posibles estados de la naturaleza, dos posibles formas de comportamiento del mercado:

E_1: el mercado compra movido por la publicidad masiva;

E_2: el mercado compra movido por la promoción en los comercios.

La matriz de decisión aparece en la ilustración Nº 3. La empresa ha estimado qué beneficio o perjuicio económico le produce cada acontecimiento. Por ejemplo, ha estimado que si hace publicidad masiva (alternativa a_1) y el mercado es sensible a la publicidad masiva (estado E_1), entonces gana 100; pero que si el mercado es sensible a la promoción, pierde 20.

Asignación del presupuesto publicitario	Comportamiento del mercado	
	E_1	E_2
	($)	
a_1	100	— 20
a_2	40	20
a_3	— 20	50

3. Matriz de decisión del ejemplo.

El problema se plantea entonces así: dadas las tres alternativas, los dos estados de la naturaleza posibles y los seis resultados de la matriz, ¿cuál es la decisión correcta? ¿Cuál es la asignación del presupuesto de publicidad más conveniente?

Para poder contestar este interrogante existen diversos *criterios de decisión*, que no siempre arrojan la misma recomendación. Aquí utilizaremos el *criterio del valor esperado*, que es perfectamente razonable para decisiones que no son de importancia tal que las posibles pérdidas ponen en peligro el futuro de la organización. Para utilizar este criterio es necesario asignar *probabilidades* a los diferentes estados de la naturaleza. Estas probabilidades pueden ser experimentales, estadísticas o históricas, como en el caso de un tipo de problema repetido que permite calcular la frecuencia relativa con que se da cada estado; o pueden ser probabilidades subjetivas, que miden el grado de creencia razonable en que se dé cada estado. Si denominamos p_i la probabilidad asociada al estado E_i, debe cumplirse que la suma de las probabilidades de todos los estados sea igual a la unidad, desde el momento que algún estado es el verdadero, es el que se da en la realidad. Entonces

$$\sum_{i}^{m} p_i = 1$$

Supongamos que en nuestro ejemplo los responsables de la decisión estiman que la probabilidad de que el mercado sea sensible a la publicidad masiva es del 70 % y de que sea sensible a la promoción sea del 30 %, porque si bien no saben cómo se comporta el mercado creen con cierta seguridad que debe responder a la publicidad masiva, aunque reconocen que bien pudiera ser que responda a la promoción en el punto de venta. Entonces

$p_1 = 0{,}70$ es la probabilidad asignada a E_1

$p_2 = 0{,}30$ es la probabilidad asignada a E_2,

con

$$p_1 + p_2 = 1.$$

El *criterio de decisión del valor esperado* puede enunciarse así: *elegir la alternativa que maximice el valor esperado de la utilidad.* Es decir, hay que calcular el valor esperado de cada alternativa y elegir aquella que tenga mayor valor esperado. El valor esperado de la alternativa a_i es

$$u(a_i) = u_{i1}\, p_1 + u_{i2}\, p_2 + \ldots + u_{im}\, p_m$$

En nuestro caso

$$\begin{aligned} u(a_1) &= \$\ 100 \times 0{,}70 + \$\ (-20) \cdot 0{,}30 \\ &= \$\ 70 - \$\ 6 \\ &= \$\ 64 \\ u(a_2) &= \$\ 40 \times 0{,}70 + \$\ 20 \times 0{,}30 = \$\ 34 \\ u(a_3) &= -\$\ 20 \times 0{,}70 + \$\ 50 \times 0{,}30 = \$\ 1. \end{aligned}$$

Como el valor esperado de la alternativa a_1 es mayor que el de las otras dos, ésa es la alternativa que hay que elegir. Esta decisión tiene un valor de $ 64, pues tal es el valor esperado de la alternativa recomendada (1).

En este problema de decisión las probabilidades asignadas a los diferentes estados juegan un papel fundamental. Si esas probabilidades cambiasen, nuestra decisión podría modificarse. Por ejemplo, si tuviéramos la certeza práctica de que el mercado compra movido por la promoción en los comercios (es decir, si fuera $p_1 = 0$ y $p_2 = 1$), entonces un cálculo similar al anterior nos recomendaría la alternativa a_3, con un valor esperado de $ 50. La decisión razonable depende de nuestro conocimiento de estado de la naturaleza, de nuestro conocimiento de la realidad y del entorno en que se realiza la decisión. Una situación como la del ejemplo, en que se cree que el estado E_1 es más probable que el estado E_2, pero en que se ignora realmente cuál de los dos se da, es una *situación de incertidumbre*. No hay certeza de cómo funciona el mundo. Toda decisión en condiciones de incertidumbre implica un riesgo, el riesgo de que la conjunción de nuestra decisión y el estado que realmente se da tenga un valor desfavorable para nosotros. Por eso cualquier recurso que disminuya nuestra incertidumbre tiene un valor, el valor de permitirnos decisiones más seguras y con mayor valor esperado. Como la *información* justamente tiene la propiedad de *reducir la incertidumbre*, pasaremos a considerar la matriz de información.

2,2. ESTRUCTURA DE LA INFORMACION

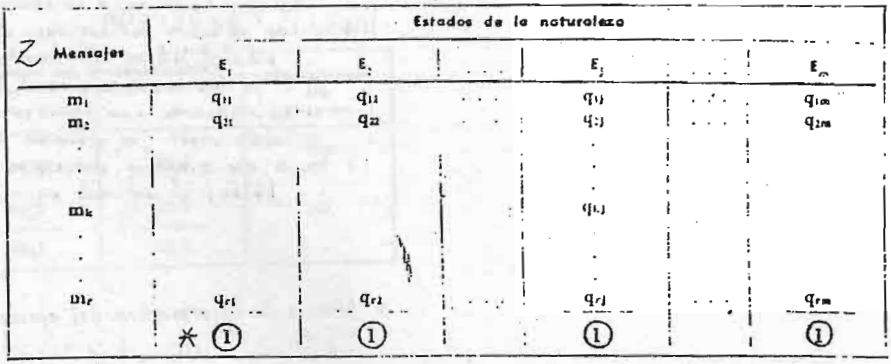
Existe una estructura de información cuando tenemos la posibilidad de recibir *mensajes* que nos digan algo acerca del verdadero estado de la naturaleza. La información contenida en tales mensajes nos permite revisar y ajustar nuestro conocimiento previo, objetivo o subjetivo, de la *probabilidad* de cada estado de la naturaleza. De tal manera dispondremos de un conocimiento más fidedigno de la realidad, que nos permitirá tomar decisiones mejor fundadas y, seguramente, más valiosas.

La estructura de la información queda definida por un conjunto M de r mensajes diferentes m_k, de los cuales recibiremos uno. Además, dado en la realidad un estado de la naturaleza verdadero E_j, la probabilidad condicional de obtener el mensaje m_k es igual a q_{kj}. Tenemos así definida una matriz de probabilidades condicionadas como la que aparece en la ilustración Nº 4, donde se cumple que

$$\sum_{k=1}^{r} q_{kj} = 1 \quad \text{para todo } j.$$

Esto significa que, dado un estado cierto E_j, cada mensaje tiene una determinada probabilidad de producirse, y que uno se dará (porque suman la unidad).

(1) En un caso concreto, ganaremos $ 100 si se da el estado E_1 y perderemos $ 20 si se da el estado E_2. No obstante, si la decisión se repitiera muchas veces y las probabilidades de ambos estados fueran respectivamente 70 y 30 %, en promedio ganaríamos $ 64.



4. Matriz de información.

Matriz de P Condicional

Volvamos a nuestro ejemplo para ilustrar una matriz de información. Los dos estados posibles de la naturaleza eran E_1, el mercado es sensible a la publicidad masiva, y E_2, el mercado es sensible a la promoción en el punto de venta. Supongamos ahora que la empresa tiene la posibilidad de encargar una investigación de mercado (comprar información) que estudie el comportamiento de compra del nuevo producto por parte del mercado. La información que provee el estudio se reducirá a uno de dos mensajes posibles

m_1: la compra de este producto es una compra planeada

m_2: es una compra impulsiva.

En el primer caso el mercado será sensible a la publicidad masiva, porque la publicidad masiva permite ponderar, sopesar y planear la compra. En el segundo caso el mercado será sensible a la promoción en el punto de venta, donde el comprador verá publicitado y expuesto el producto que le hará actuar impulsivamente. Ahora bien, esta información no es perfecta. Si E_1 es verdadero, es decir si el mercado es sensible a la publicidad masiva, entonces lo más probable es que se dé el mensaje m_1. Pero también puede darse el mensaje m_2, aunque sea menos probable. En toda investigación de mercado existen posibilidades de errores, como por ejemplo que la muestra de individuos estudiados no sea representativa por defectos en su constitución o por causas aleatorias. Además, puede no haber una correspondencia cerrada entre "sensibilidad a la publicidad masiva" y "compra planeada". Otro tanto ocurre para el caso de que E_2 sea cierta, es decir que el mercado sea sensible a la promoción. En tal caso es probable que la investigación de mercado concluya que se trata de una compra impulsiva (m_2), pero puede eventualmente ocurrir que indique m_1 por razones similares a las vistas más arriba. En tales condiciones podemos tener una matriz de información como la que aparece en la ilustración Nº 5, donde se han cuantificado las probabilidades condicionales. En esta tabla, la probabilidad de 0,80 debe interpretarse así: si el verdadero comportamiento del mercado es E_1, entonces existe una probabilidad del 80 % de que el estudio de mercado consista en el mensaje m_1. Naturalmente, como dado un comportamiento del mercado la investigación arrojará un mensaje, la suma de las probabilidades de cada columna debe ser la unidad, o sea la certeza.

Investigación del mercado	Comportamiento del mercado	
	E_1	E_2
m_1	0,80	0,10
m_2	0,20	0,90
	1,00	1,00

5. Matriz de información del ejemplo.

Una estructura de información es por definición *perfecta* si el estado de la naturaleza verdadero queda unívocamente determinado. En la ilustración Nº 6 se ven dos ejemplos. En el caso *A*, cualquiera de los tres mensajes posibles identifica uno de los estados como cierto. En el caso *B*, cualquiera de los cuatro mensajes posibles identifica uno de los estados como cierto. La única diferencia consiste en que la matriz *B* es demasiado *refinada*, tiene más mensajes que el mínimo necesario (el mínimo necesario para obtener información perfecta es 3, porque hay 3 estados a identificar).

Mensaje	E_1	E_2	E_3
CASO A			
m_1	1	0	0
m_2	0	1	0
m_3	0	0	1
CASO B			
m_1	0,5	0	0
m_2	0,5	0	0
m_3	0	1	0
m_4	0	0	1

6. Estructuras de información perfectas.

En la ilustración Nº 7 aparecen estructuras de información *imperfectas*. Una estructura es imperfecta si al menos un estado de la naturaleza no queda unívocamente determinado por algún mensaje. Por ejemplo, en el caso *A* el mensaje m_1 no discrimina entre los estados E_1 y E_2. Si el estado verdadero es E_1, el mensaje será m_1, pero si el estado verdadero es E_2 el mensaje también será m_1. En este caso la estructura de la información es demasiado *burda*, porque el número de mensajes posibles es menor que el número de estados posibles. Una estructura burda nunca puede ser perfecta.

El caso *B* de la misma ilustración Nº 7 corresponde a otra estructura de información imperfecta. Los mensajes m_1 y m_2 no discriminan netamente entre los tres estados de la naturaleza. El mensaje m_3 no discrimina entre los estados E_2 y E_3. Este es el caso de una estructura imperfecta y al mismo tiempo refinada.

Mensaje	E_1	E_2	E_3
CASO A			
m_1	1	1	0
m_2	0	0	1
CASO B			
m_1	0,9	0,8	0,25
m_2	0,1	0,1	0,25
m_3	0	0,1	0,25
m_4	0	0	0,25
CASO C			
m_1	0,9	0,7	0,1
m_2	0,1	0,2	0,3
m_3	0,0	0,1	0,6
CASO D			
m_1	0,2	0,2	
m_2	0,8	0,1	
m_3	0,0	0,7	

BURDA ⇒ $m < E$

Imperfecta refinada

Inperf Equilibrada

mensaje inútil

7. Estructuras de información imperfectas.

En el caso *C* se da al mismo tiempo una estructura imperfecta pero que es equilibrada, ni demasiado burda ni demasiado refinada. Otro ejemplo es el de la ilustración Nº 5 del ejemplo.

Finalmente, el caso *D* de la ilustración Nº 7 muestra el caso de un mensaje inútil: el mensaje m_1 (no) provee ningún tipo de información porque tiene la misma probabilidad de ocurrencia cualquiera sea el estado verdadero. Más adelante demostraremos esto rigurosamente, aunque es fácil aceptarlo intuitivamente: como el mensaje tiene la misma probabilidad de aparición para cualquier estado, (no) puede cambiar nuestro grado de creencia en la verdad de cada estado de la naturaleza.

Antes de terminar con este tema digamos que en la realidad es prácticamente imposible construir *estructuras de información perfectas* para mejorar la calidad de las decisiones de la organización. Por una parte, las decisiones tienen efecto durante un período de tiempo futuro y la optimización tiene que considerar *futuros* estados de la naturaleza, lo que ya representa una incertidumbre *per se*. En los problemas de decisión se extrapola la situación presente

o se predice la situación futura, o se considera que la situación presente no cambiará (que el estado actualmente válido seguirá siendo válido durante el horizonte de la decisión). Todos estos casos incluyen un cierto grado de incertidumbre. Por otra parte, la información nos llega a través de un cierto sistema de información, que está sujeto a diversos grados de error, retardo, deformación y compresión. En consecuencia, el estado *actual* (y con mayor razón el estado futuro) sólo puede ser conocido imperfectamente. En nuestro ejemplo de la asignación del presupuesto publicitario todo el esquema de decisión que analizaremos supondrá que los resultados del estudio de mercado seguirán siendo válidos en el futuro, cuando se realice la publicidad, y que los responsables de la empresa reciben un informe que describe sin mucho error el comportamiento de los consumidores en cuanto al planeamiento o la impulsividad de la compra.

(2) El punto que tenemos que ver a continuación es capital. Se refiere al siguiente tema: ¿cómo la información mejora nuestro conocimiento de la realidad? Veremos a continuación de qué forma la información reduce o anula nuestra incertidumbre acerca de la naturaleza de la realidad. Antes de obtener la información tenemos un cierto *modelo* de la realidad con que estamos trabajando; después de recibir la información, si la incorporamos convenientemente, obtenemos por lo general un modelo más realista, más cercano a la verdad, con menor incertidumbre.

2,3. LOGICA BAYESIANA

El célebre teorema de BAYES nos permite revisar, recalcular y mejorar las probabilidades p_j que asignamos a los diferentes estados de la naturaleza en función del mensaje recibido. Llamaremos a estas p_j probabilidades *a priori* de los estados E_j, por cuanto son las estimaciones previas a la información. A las estimaciones revisadas de esas probabilidades las llamaremos probabilidades *a posteriori*, porque se derivan de la información.

Llamaremos $P(E_j, m_k)$ a la probabilidad de que simultáneamente E_j sea verdadero y de que se obtenga el mensaje m_k. Esta probabilidad es igual a

$$P(E_j, m_k) = p_j q_{kj},$$

donde:

p_j: es la probabilidad de que se dé el estado E_j (ésta es la probabilidad a priori), y

q_{kj}: es la probabilidad condicionada de que, una vez dado el estado E_j, se dé el mensaje m_k.

La igualdad anterior corresponde al teorema del producto del cálculo de probabilidades que dice: la probabilidad de que ocurran dos acontecimientos simultáneamente es igual al producto de la probabilidad de que ocurra uno de ellos por la probabilidad condicionada de que, una vez que ocurra el primero, ocurra el segundo. La probabilidad de obtener un estado y un mensaje es la probabilidad de obtener el estado multiplicada por la probabilidad de, una vez obtenido el estado, obtener el mensaje.

Aplicando nuevamente el teorema, pero poniendo en primer lugar el mensaje, se obtiene

$$P(E_j, m_k) = P(m_k)\, P(E_j/m_k),$$

donde

$P(m_k)$: es la probabilidad de obtener el mensaje m_k, y

$P(E_j/m_k)$: es la probabilidad condicionada de que, una vez obtenido m_k, se dé E_j.

Esta última es la probabilidad a posteriori que nos interesa, porque representa la nueva probabilidad que atribuimos al estado E_j una vez que sabemos que se dio el mensaje m_k.

Igualando los segundos miembros de las ecuaciones anteriores y despejando la probabilidad a posteriori, llegamos al teorema de BAYES

$$P(E_j/m_k) = \frac{q_{kj}}{P(m_k)}\, p_j.$$

La probabilidad a posteriori es igual a la probabilidad a priori multiplicada por el factor

$$\frac{q_{kj}}{P(m_k)}$$

Se ve que la probabilidad a posteriori es función de la probabilidad a priori y de la estructura de la información.

De la fórmula de BAYES nos falta conocer el denominador, que es la probabilidad de obtener el mensaje m_k. En función de parámetros conocidos, esta probabilidad es

$$P(m_k) = \sum_j p_j q_{kj}.$$

Esta última expresión dice que la probabilidad de obtener el mensaje m_k es igual a la probabilidad de que se dé el estado E_1 multiplicada por la probabilidad de que, dado el estado E_1, se dé el mensaje m_k; más la probabilidad de que se dé el estado E_2, multiplicada por la probabilidad de que, dado el mensaje E_2, se dé el mensaje m_k; y así para todos los demás estados posibles hasta llegar al último E_m.

Con esta especificación del denominador, el teorema de BAYES resulta:

$$P(E_j/m_k) = \frac{q_{kj}}{\sum_j p_j q_{kj}}\, p_j.$$

La probabilidad revisada (a posteriori) de que, una vez conocida la existencia del mensaje m_k, sea verdadero el estado E_i es función de la probabilidad a priori p_i de que dicho estado sea verdadero, de las probabilidades p_i de los otros estados y de las probabilidades de la matriz de información.

Volvamos al ejemplo de la publicidad. Las probabilidades a priori eran $p_1 = 0{,}70$ y $p_2 = 0{,}30$. Las cuatro probabilidades de la matriz de información de la ilustración Nº 5 son $q_{11} = 0{,}80$, $q_{12} = 0{,}10$, $q_{21} = 0{,}20$ y $q_{22} = 0{,}90$. Con estos datos podemos calcular cuatro probabilidades a posteriori:

1. *La probabilidad de que, dado m_1, sea verdadero E_1:*

$$P(E_1/m_1) = \frac{q_{11}}{p_1 q_{11} + P_2 q_{12}} p_1$$

$$= \frac{0{,}80}{0{,}70\ 0{,}80 + 0{,}30\ 0{,}10}\ 0{,}70$$

$$= 0{,}95$$

Se aprecia que la probabilidad a posteriori es mayor que la probabilidad a priori. Si la investigación revela que la compra es planeada, la certidumbre de que el mercado es sensible a la publicidad masiva crece, porque la investigación ratifica una creencia anterior. La información de la investigación de mercados hace que la probabilidad intuitiva del 70 % de que el mercado es sensible a la publicidad masiva se transforme en una probabilidad del 95 %, próxima a la certeza.

2. *La probabilidad de que, dado m_1, sea verdadero E_2:*

$$P(E_2/m_1) = \frac{q_{12}}{p_1 q_{11} + p_2 q_{12}} p_2$$

$$= \frac{0{,}1}{0{,}70\ 0{,}80 + 0{,}30\ 0{,}10}\ 0{,}30$$

$$= 0{,}05$$

En este caso la probabilidad a posteriori disminuye, pero también se mueve en el sentido de la mayor certeza. Antes de contar con la información era del 30 %; después es del 5 %. Ahora es mucho más cierto que E_2 no es válido; es casi seguro que el mercado no es sensible a la promoción en el punto de venta. La suma de la probabilidad a posteriori del punto 1, 0,95, y la de este punto 2, 0,05, es la unidad: si bien ambas probabilidades se movieron hacia la certeza, su suma sigue siendo la unidad, porque aunque sea conocido el mensaje m_1, debe darse que E_1 o E_2 es el verdadero.

3. *La probabilidad de que, dado m_2, sea verdadero E_1:*

$$P(E_1/m_1) = \frac{q_{21}}{p_1 q_{11} + p_2 q_{21}} p_1$$

$$= \frac{0,20}{0,70\ 0,20 + 0,30\ 0,90}\ 0,70$$

$$= 0,34.$$

En este caso la probabilidad a posteriori es menor que la probabilidad a priori (0,34 es menor que 0,70). La información del estudio de mercado de que la gente compra el nuevo producto por impulso hace menos probable el comportamiento sensible a la publicidad masiva. No obstante, que E_1 no sea verdadero está lejos de la certeza: 0,34 está lejos de 0.

4. *Finalmente la probabilidad de que, dado m_2, sea verdadero E_2:*

$$P(E_2/m_1) = \frac{q_{22}}{p_1 q_{12} + p_2 q_{22}} p_2$$

$$= \frac{0,90}{0,70\ 0,20 + 0,30\ 0,40}\ 0,30$$

$$= 0,66.$$

La probabilidad a posteriori es mayor que la probabilidad a priori (0,66 es mayor que 0,30). El estudio de mercado, al informar comportamiento impulsivo, hace más probable la hipótesis de que el mercado es sensible a la promoción en el punto de venta. No obstante, que E_2 sea verdadero está lejos de la certeza: 0,66 está lejos de 1.

Resumiendo: teníamos una idea a priori de cómo era el comportamiento del mercado: nos inclinábamos a que era sensible a la publicidad masiva. Los resultados posibles de la investigación de mercado modifican la intensidad de esta creencia. Si el estudio informa "compra planeada", la creencia original se ve fuertemente reforzada, acercándose a la certeza. Si en cambio el estudio indica "compra impulsiva", no llegamos a ninguna conclusión definitiva, pero nuestra creencia debe cambiar en el sentido de que debemos pensar más bien que el mercado es sensible a la promoción en el punto de venta. La información (las conclusiones de la investigación de mercado) nos llevan en cada alternativa a una creencia que tiene mayores posibilidades de describir correctamente el estado de la naturaleza.

importante

Volvamos ahora sobre los conceptos de certidumbre e incertidumbre. Sean dos estados posibles de la naturaleza, E_1 y E_2. El estado de certidumbre existe cuando las probabilidades son respectivamente 1 y 0 ó 0 y 1. En el primer caso E_1 es verdadero y E_2 falso; en el segundo caso es E_2 verdadero y E_1 falso. Cualquier otro par de valores que sumen la unidad representa un caso de incertidumbre. Por ejemplo, las probabilidades de 0,70 y 0,30 representan incertidumbre (incertidumbre quiere decir ausencia de certeza). La incertidumbre má-

xima corresponde a iguales probabilidades: 0,5 y 0,5 respectivamente. Existe tal desconocimiento del estado de la realidad que ambos estados tienen la misma probabilidad de ser ciertos.

En el ejemplo que analizamos anteriormente, el mensaje m_1 cambiaba las probabilidades a priori 0,70 y 0,30 a 0,95 y 0,05. Evidentemente en este caso disminuye la incertidumbre. Las probabilidades a posteriori 0.95 y 0.05 se parecen bastante a la condición de certeza 1 y 0.

El caso es más complicado cuando se da el mensaje m_2. En este caso las probabilidades a priori 0,70 y 0,30 cambian a las probabilidades a posteriori 0,34 y 0,66. Aparentemente, la incertidumbre *aumentó* en lugar de disminuir. El segundo par está más próximo a la máxima incertidumbre 0,50 y 0,50 que el primer par. Pero no es así. El primer par se basa en una cierta cantidad de información o en cierta creencia; el segundo par se basa en esa misma información o creencia *más* la información adicional del estudio de mercado. El segundo par tiene menos incertidumbre que el primero porque está mejor fundamentado. Las probabilidades 0,34 y 0,66 tienen más probabilidades de ser correctas que 0,70 y 0,30 porque están basadas en mayores evidencias. Por lo tanto presentan un mayor grado de certidumbre. Los valores más próximos a 0,50 y 0,50 surgen porque la evidencia de la investigación de mercado tendió a refutar la creencia a priori de que E_1 era más probable. A continuación veremos que si se contrata la investigación de mercado y se obtiene el mensaje m_2, la decisión óptima de la asignación del presupuesto de publicidad y promoción *cambia* a pesar de la mayor cercanía de las probabilidades a posteriori de la situación de máxima incertidumbre.

Antes de proseguir, destaquemos que la lógica bayesiana descripta incorpora racionalmente nueva información a un esquema de conocimientos o creencias preexistente. La nueva información modifica en un *cierto sentido* las creencias de cómo es la realidad. El teorema de BAYES no solamente indica en qué sentido se modifica sino que *cuantifica* el cambio. Mayores cantidades de información adicional irán moviendo el esquema hacia la certeza, donde el estado de la naturaleza verdadero tendrá una probabilidad cercana a la unidad y las probabilidades de todos los demás estados serán casi nulos. Este es el *método de la ciencia* cuando verifica hipótesis (estados de la naturaleza que parecen verdaderos) mediante observación y experimentación (información adicional). También es el método sobre la base del cual el hombre *aprende de la experiencia*: su comportamiento basado en cierto esquema de cómo es el mundo va cambiando a medida que la experiencia (información adicional) va modificando tal esquema.

2.4. DECISION OPTIMA CON INFORMACION

Si se ha obtenido información, la decisión óptima del problema de decisión original puede cambiar. Para saber cuál es la nueva decisión óptima es necesario calcular los valores esperados de todas las alternativas con las probabilidades a posteriori de los estados de la naturaleza y elegir aquella alternativa que tenga el mayor valor esperado.

Para un mensaje obtenido m_k, la decisión óptima es la alternativa a_i que maximiza el valor esperado:

$$u(a_i/m_k) = \sum_j P(E_j/m_k)\, u_{ij}.$$

Como ejemplo, consideremos los dos casos posibles en el caso de la publicidad. Supongamos en primer lugar que se ha recibido el mensaje m_1. Las probabilidades a posteriori son 0.95 para E_1 y 0.05 para E_2. El valor esperado de cada alternativa es

$$u(a_1/m_1) = \$\ 100\ 0{,}95 - \$\ 20\ 0{,}05 = \$\ 94{,}0$$
$$u(a_2/m_1) = \$\ 40\ 0{,}95 + \$\ 20\ 0{,}05 = \$\ 39.0$$
$$u(a_3/m_1) = -\$\ 20\ 0{,}95 + \$\ 50\ 0{,}05 = -\$\ 16{,}5.$$

La decisión óptima es elegir la alternativa a_1. La decisión óptima no cambió. aunque el valor o utilidad esperada aumentó: con las probabilidades a priori se esperaba una ganancia de $ 64; con las probabilidades a posteriori de la información m_1 se espera una ganancia de $ 94. Esto se debe simplemente a que la información m_1 refuerza nuestra creencia que E_1 es verdadero.

Supongamos a continuación que se ha recibido el mensaje m_2. Las probabilidades a posteriori son 0,34 para E_1 y 0.66 para E_2. El valor esperado para cada alternativa es

$$u(a_1/m_2) = \$\ 100\ 0{,}34 - \$\ 20\ 0{,}66 = \$\ 20{,}8$$
$$u(a_2/m_2) = \$\ 40\ 0{,}34 + \$\ 20\ 0{,}66 = \$\ 26{,}8$$
$$u(a_3/m_2) = -\$\ 20\ 0{,}34 + \$\ 50\ 0{,}66 = \$\ 25{,}8.$$

La decisión óptima es elegir la alternativa a_2. La decisión óptima cambió: con las probabilidades a priori era a_1; con las probabilidades a posteriori es a_2. La razón es que el mensaje m_2 es contradictorio con las creencias a priori, y por lo tanto la mejor decisión es una alternativa que tanto prevé publicidad masiva como promoción en el punto de venta.

c) VALOR DE LA INFORMACION

Definimos el *valor de la información* como el *incremento del valor esperado causado por la información*. El valor de la información es la diferencia entre el valor esperado con las probabilidades a posteriori y el valor esperado de las alternativa óptima con las probabilidades a priori.

Ya vimos antes que el valor esperado en este último caso es de $ 64. La pregunta que surge es: ¿cuánto aumenta el valor estimado de la decisión si se realiza la investigación de mercado?

Hay un problema: es que esta evaluación hay que hacerla *antes* de disponer de la información. En el punto anterior vimos cuál es el valor esperado *después* de conocido el mensaje de la investigación de mercado. Este valor es de $ 94,0 si se recibe el mensaje m_1 y de $ 26,8 si se recibe el mensaje m_2. Por lo tanto, hay que hallar un (*promedio ponderado*) de ambos valores, siendo el coeficiente de ponderación la *probabilidad* de obtener cada mensaje.

La probabilidad de obtener el mensaje m_1 es, según ya vimos antes,

$$\begin{aligned} P(m_1) &= p_1\, q_{11} + p_2\, q_{12} \\ &= 0{,}70\ 0{,}80 + 0{,}30\ 0{,}10 \\ &= 0{,}59. \end{aligned}$$

La probabilidad, dadas las probabilidades a priori de los estados y la matriz de información, de obtener el mensaje m_1 del estudio de mercado es del 59 %.

La probabilidad de obtener el mensaje m_2 es

$$\begin{aligned} P(m_2) &= p_1 q_{11} + p_2 q_{12} \\ &= 0{,}70\ 0{,}20 + 0{,}30\ 0{,}90 \\ &= 0{,}41. \end{aligned}$$

Naturalmente, la probabilidad de obtener alguno de los dos mensajes es la suma de sus probabilidades:

$$0{,}59 + 0{,}41 = 1$$

que es la unidad, la certeza.

Con estas dos probabilidades, el valor esperado de la decisión con la información, pero *antes* de recibir la información, es

$$\begin{aligned} V' &= u\,(a_1/m_1)\ P(m_1) + u\,(a_2/m_2)\ P(m_2) \\ &= \$\ 94{,}0\ 0{,}59 + \$\ 26{,}8\ 0{,}41 \\ &= \$\ 66{,}5. \end{aligned}$$

La posibilidad de obtener información acerca del mercado da un valor esperado de la decisión de $ 66,5. Como el valor sin información era de $ 64,0, entonces el *valor de la información* es

$$vi = V' - V$$
$$= \$\ 66.5 - \$\ 64.0$$
$$= \$\ 2,5.$$

La información de mercado vale $ 2,5. Solamente hay que comprar tal información si su *costo* es inferior a su valor. Si el costo es menor a $ 2,5, la información aporta una utilidad económica; si el costo es mayor que $ 2,5 no aporta utilidad y no hay que comprarla.

Este es el punto básico del valor de la información. La información es conveniente solamente si

1) modifica nuestro conocimiento a priori del mundo que nos rodea;

2) incrementa el valor esperado de una decisión que es función de ese conocimiento del mundo, y

3) el incremento del valor esperado de la decisión es mayor que el costo de la información.

Si se cumplen estas tres condiciones, la información es conveniente. Si al menos alguna de las tres no se cumple, no es económicamente conveniente.

El punto central del valor de la información es el visto: la información es conveniente siempre y cuando incremente el valor esperado de una decisión por encima del costo de la información. Esto es siempre verdadero, aunque no siempre pueda calcularse. Inclusive en los casos en que no puede estimarse, el valor de la información reside en la posibilidad de llegar a mejores decisiones. Dicho brevemente, la información permite un mejor conocimiento de la realidad, y un mejor conocimiento de la realidad permite mejores decisiones.

En casos reales, pocas veces se conocen la matriz de decisión y la matriz de información como para poder calcular el valor de la información. Sólo es generalmente posible para decisiones repetitivas de bajo nivel, como en algunas aplicaciones de control de calidad y mantenimiento preventivo. No obstante, el modelo teórico visto nos permitirá ciertas generalizaciones que son válidas en cualquier tipo de problema, cuantificable o no. En primer lugar veremos cómo varía el valor de la información con la dimensión económica del problema.

2,5. VALOR DE LA INFORMACION Y DIMENSION ECONOMICA DEL PROBLEMA

Para ilustrar este punto, supondremos el mismo problema anterior de asignación del presupuesto de publicidad, con la única diferencia de que los valores económicos son diez veces mayores. Al ser diez veces mayores las utilidades de la matriz de decisión, nos estamos enfrentando a un problema de una dimensión económica diez veces mayor. Las ganancias y las pérdidas se decuplican.

En la ilustración Nº 8 aparecen las matrices de decisión y de información del ejemplo analizado anteriormente, con la única diferencia que las utilidades de la matriz de decisión se han decuplicado, tanto para las ganancias como para las pérdidas. Compárese esta ilustración con las ilustraciones Nos. 3 y 5.

A. *Matriz de decisión*

Asignación del presupuesto publicitario	Comportamiento del mercado	
	E_1	E_2
a_1	$ 1.000	— $ 200
a_2	400	200
a_3	— 200	500
	$p_1 = 0,70$	$p_2 = 0,30$

B. *Matriz de información*

Investigación de mercado	Comportamiento del mercado	
	E_1	E_2
m_1	0,80	0,10
m_2	0,20	0,90
	1,00	1,00

8. Ejemplo de mayor dimensión económica.

Resolviendo este caso siguiendo las mismas etapas que el anterior, llegamos a los siguientes valores:

1) *Valor esperado a priori de las decisiones*

$$u(a_1) = \$\ 640$$
$$u(a_2) = \$\ 340$$
$$u(a_3) = \$\ 10.$$

Son 10 veces mayores que en el ejemplo original.

2) *Decisión óptima y su valor a priori.*

La decisión óptima es a_1, con $V = \$\ 640$.

3) *Probabilidades a posteriori de los estados*

$$P(E_1/m_1) = 0,95$$
$$P(E_2/m_1) = 0,05$$
$$P(E_1/m_2) = 0,34$$
$$P(E_2/m_2) = 0,66$$

Son iguales que en el ejemplo original.

4) *Valor esperado a posteriori de las decisiones*

$$u(a_1/m_1) = \$\ 940 \text{ (óptimo)}$$
$$u(a_2/m_1) = \$\ 390$$
$$u(a_3/m_1) = \$\ 165$$
$$u(a_1/m_2) = \$\ 208$$
$$u(a_2/m_2) = \$\ 268 \text{ (óptimo)}$$
$$u(a_3/m_2) = \$\ 252.$$

Son 10 veces mayores que en el ejemplo original.

5) *Probabilidad de los mensajes*

$$P(m_1) = 0{,}59$$
$$P(m_2) = 0{,}41.$$

Igual que en el ejemplo original.

6) *Valor esperado de la decisión con información, pero antes de recibirla*

$$V' = \$\ 665.$$

Es diez veces mayor que en el ejemplo original.

7) *Valor de la información*

$$vi = \$\ 25.$$

Diez veces mayor que en el ejemplo original.

Como vemos, todos los valores económicos se decuplican. Esto es natural, desde que el problema tiene la misma estructura de probabilidades a priori y probabilidades de información. La información para un problema de dimensión diez veces mayor tiene un valor diez veces mayor. Este es un principio general, válido para todo tipo de problemas de decisión y de sistemas de información.

Principio: El valor de la información es directamente proporcional a la dimensión económica de los problemas de decisión en que se utiliza.

Este principio establece la *relatividad del valor de la información*. La información no tiene valor *per se*, sino en función del problema a que se aplica. Podríamos extender la conclusión y decir que el valor de la información depende de *quién* decide: dos personas distintas con el mismo problema y la misma información pueden decidir cosas diferentes, y entonces el valor de la misma información para el mismo problema ser diferente según su uso. Para quien sabe utilizar la información para decidir mejor, la información tiene mayor valor. Así podemos establecer otro

Principio: El valor de la información crece cuanto mejor la utiliza el destinatario de la información.

En el caso extremo tenemos el individuo que recibe información y no la usa o no sabe usarla. Para él esa información tiene valor nulo.

Lo que hemos visto explica por qué las empresas grandes pueden disponer de mayor información que las pequeñas. El costo de la información puede ser el mismo para una empresa pequeña que para una empresa grande, pero el valor de la información es mayor para la empresa grande. Entonces lo que es económicamente conveniente para la empresa grande puede no serlo para la empresa pequeña. Por ejemplo, supongamos que el costo del estudio de mercado del ejemplo sea

$$ci = \$\ 10.$$

En el ejemplo original, si se trata de una empresa pequeña, la utilidad de la información es

$$\begin{aligned} ui &= vi - ci \\ &= \$\ 2{,}5 - \$\ 10 \\ &= -\$\ 7{,}5. \end{aligned}$$

La utilidad de la información es negativa. Su costo excede su valor. Por lo tanto, no hay que comprar tal información. Hay que decidir acerca del presupuesto de publicidad sin hacer el estudio de mercado, que es demasiado caro para el valor que tiene para la empresa pequeña.

En el segundo ejemplo, que supondremos es el mismo problema de decisión en una empresa grande, la utilidad de la información es

$$\begin{aligned} ui &= vi - ci \\ &= \$\ 25 - \$\ 10 \\ &= \$\ 15. \end{aligned}$$

En este caso la información tiene utilidad positiva y hay que comprarla. El valor de la información excede al costo de la información. Así llegamos a otro

Principio: Una cierta información, de contenido y costo dados, puede ser económicamente conveniente para una empresa y antieconómica para otra empresa de menor dimensión.

Por último, podemos repetir algo visto más arriba: si la información no mejora nuestro conocimiento de la realidad, el grado de creencia que tenemos en ciertos estados de la naturaleza, o no cambia el valor esperado de una decisión o si la decisión no se lleva a la realidad, entonces la utilidad de la información es negativa: cuesta pero no vale. Así podemos establecer el

Principio: Si la información no mejora el conocimiento de la realidad, o no mejora el valor esperado de las decisiones, o si las decisiones no se llevan a la práctica, entonces la información es antieconómica.

2,6. VALOR DE LA INFORMACION Y CALIDAD DE LA INFORMACION

En este punto modificaremos de otra forma el ejemplo original. Sólo cambiaremos la matriz de información y comprobaremos que mejorando la *calidad de la información* mejora su valor.

La ilustración Nº 9 vuelve a presentar el problema original, con la única diferencia de que las probabilidades q_{ij} de que, dado un estado de la naturaleza, se dé un cierto mensaje, se aproximan más a la certeza (probabilidad 1 ó 0). La matriz de información de la ilustración Nº 9 es "más perfecta" que la de la ilustración Nº 5 del ejemplo original.

A. *Matriz de decisión*

Asignación del presupuesto publicitario	Comportamiento del mercado	
	E_1	E_2
a_1	$ 100	— $ 20
a_2	40	20
a_3	— 20	50
	$p_1 = 0{,}70$	$p_2 = 0{,}30$

B. *Matriz de información*

Investigación de mercado	Comportamiento del mercado	
	E_1	E_2
m_1	0,90	0,00
m_2	0,10	1,00
	1,00	1,00

9. Ejemplo de información de mejor calidad.

Las diferentes etapas de resolución de este caso dan

1) *Valor esperado a priori de las decisiones*

$$u(a_1) = \$\ 64$$
$$u(a_2) = \$\ 34$$
$$u(a_3) = \$\ 1.$$

Igual al ejemplo original.

2) *Decisión óptima y su valor a priori*

La decisión óptima es a_1, con V = 64.

Igual al ejemplo original.

3) *Probabilidades a posteriori de los estados*

$$P(E_1/m_1) = 1{,}00$$
$$P(E_2/m_1) = 0{,}00$$
$$P(E_1/m_2) = 0{,}19$$
$$P(E_2/m_2) = 0{,}81.$$

Se acercan más a la certeza.

4) *Valor esperado a posteriori de las decisiones*

$$u(a_1/m_1) = \$\ 100 \text{ (óptimo)}$$
$$u(a_2/m_1) = \$\ 40$$
$$u(a_3/m_1) = -\$\ 20$$

$$u(a_1/m_2) = \$\ 35{,}2$$
$$u(a_2/m_2) = \$\ 23.8$$
$$u(a_3/m_2) = \$\ 41.3 \text{ (óptimo)}$$

Los óptimos son mayores. Y CAMBIO EN EL n_2

5) *Probabilidad de los mensajes*

$$P(m_1) = 0{,}63$$
$$P(m_2) = 0.37.$$

Cambian ligeramente. ACERCÁNDOSE n_1 MÁS A LA PERFECCIÓN n_2

6) *Valor esperado de la decisión con información, antes de recibirla*

$$V' = \$\ 79{,}4.$$

Es mayor que en el ejemplo original.

7) *Valor de la información*

$$vi = \$\ 15{,}4.$$

Es mayor que en el ejemplo original.

Como vemos, una mejor calidad de información, una información que se acerca más a la información perfecta, tiene mayor valor. En el ejemplo original. la información de la matriz de la ilustración Nº 5 tiene un valor $vi = \$\ 2{,}5$. En este ejemplo, la información de la matriz de la ilustración Nº 9 tiene un valor $vi = \$\ 15{,}4$, varias veces superior. Todo esto ocurre porque cada mensaje identifica menos ambiguamente el estado de la naturaleza verdadero. El mensaje m_1 revela la certeza de la verdad de E_1; el mensaje m_2 da una probabilidad *a* posteriori del 81 % para E_2, mayor que el 66 % anterior.

Si modificáramos aún más la matriz de información transformándola en *información perfecta* como aparece en la ilustración Nº 10, llegaríamos a que el valor de la información es

$$vi = \$\ 21.0.$$

Este es el mayor valor alcanzable y se lo llama *costo de la incertidumbre* porque es el costo de nuestra ignorancia. La información perfecta tiene valor máximo. La causa es que la información perfecta produce certidumbre acerca del estado de la naturaleza verdadero. En la ilustración Nº 10, el mensaje m_1 produce la certidumbre de que E_1 es verdadero; el mensaje m_2 nos dice que E_2 es verdadero. En el ejemplo, una estructura de información perfecta sería aquella que

1) Nos dijese sin lugar a dudas si el mercado compra en forma planeada o impulsiva, y

2) Quienes compran en forma planeada son total y exclusivamente sensibles a la publicidad masiva, y quienes compran impulsivamente son sensibles exclusivamente a la promoción en el punto de venta.

Todo lo anterior nos permite establecer el

Principio: El valor de la información es proporcional a la calidad de la estructura de la información (información que se acerca más a la información perfecta, donde cada mensaje determina unívocamente un estado de la naturaleza). La información perfecta produce certidumbre acerca del estado de la naturaleza y tiene valor máximo.

Como ejemplo, en el control de calidad la información perfecta corresponde a la inspección al 100 % del lote, sin errores de medición. En un estudio cuantitativo de mercado la estructura de información es tanto más perfecta cuanto mayor es el tamaño de la muestra. En la investigación científica, la repetición de ensayos tiende a generar información cada vez más perfecta.

Investigación de mercado	Comportamiento del mercado	
	E_1	E_2
m_1	1.00	0.00
m_2	0,00	1.00
	1.00	1,00

10. Matriz de información perfecta.

2,7. VALOR DE LA INFORMACION E INCERTIDUMBRE A PRIORI

En este punto modificaremos de otra forma el ejemplo original. Supondremos que existe una mayor incertidumbre a priori acerca del verdadero estado de la naturaleza. Las probabilidades a priori serán $p_1 = 0{,}50$ y $p_2 = 0.50$. El responsable de la decisión no sabe ni intuye nada acerca del comportamiento del mercado. El ejemplo así modificado aparece en la ilustración Nº 11.

A. *Matriz de decisión*

Asignación del presupuesto publicitario	Comportamiento del mercado	
	E_1	E_2
a_1	\$ 100	— \$ 20
a_2	40	20
a_3	— 20	50
	$p_1 = 0{,}50$	$p_2 = 0{,}50$

B. *Matriz de información*

Investigación de mercado	Comportamiento del mercado	
	E_1	E_2
m_1	0,80	0,10
m_2	0,20	0,90
	1,00	1,00

11. Ejemplo con mayor incertidumbre.

Comprobaremos que en este caso el valor de la información aumenta. La mayor incertidumbre a priori aumenta el valor de la información.

Los distintos pasos del cálculo del valor de la información dan

1) *Valor esperado a priori de las decisiones*

$$u(a_1) = \$\ 40$$
$$u(a_2) = \$\ 30$$
$$u(a_3) = \$\ 15.$$

Cambian con respecto al ejemplo original.

2) *Decisión óptima y su valor a priori*

La decisión óptima es a_1, con $V = \$\ 40$.

Es menor que en el ejemplo original.

3) *Probabilidades a posteriori de los estados*

$$P(E_1/m_1) = 0{,}89$$
$$P(E_2/m_1) = 0{,}11$$
$$P(E_1/m_2) = 0{,}18$$
$$P(E_2/m_2) = 0{,}82.$$

Cambian con respecto al ejemplo original.

4) *Valor esperado a posteriori de las decisiones*

$$u(a_1/m_1) = \$\ 86{,}8 \text{ (óptimo)}$$
$$u(a_2/m_1) = \$\ 37{,}8$$
$$u(a_3/m_1) = \$\ 23{,}3$$

$$u(a_1/m_2) = \$\ 16$$
$$u(a_2/m_2) = \$\ 23{,}6$$
$$u(a_3/m_2) = \$\ 37{,}4 \text{ (óptimo)}$$

Los óptimos cambian.

5) *Probabilidades de los mensajes*

$$P(m_1) = 0{,}45$$
$$P(m_2) = 0{,}55.$$

El mensaje m_1 se vuelve menos probable.

6) *Valor esperado de la decisión con información, antes de recibirla*

$$V' = \$\ 59{,}7.$$

7) *Valor de la información*

$$vi = \$\ 19{,}7.$$

Es mayor que en el ejemplo original.

Así comprobamos que cuanto mayor es la incertidumbre original mayor es el valor de la información. También se podría comprobar el caso opuesto: en caso de *certidumbre* a priori, el valor de la información es nulo. Esto es comprensible, porque cuando existe certidumbre acerca del verdadero estado de la naturaleza ninguna información puede cambiar tal estado de certidumbre. En el teorema de BAYES, cuando la probabilidad a priori es unitaria o nula, la probabilidad a posteriori es unitaria o nula cualquiera sea el mensaje. Como la información en este caso no cambia nuestro conocimiento de la naturaleza, tampoco cambia nuestra decisión ni el valor de nuestra decisión. La información tiene valor nulo.

Así llegamos a los siguientes principios generales:

Principio: El valor de la información es tanto mayor cuanto mayor es la incertidumbre a priori acerca del verdadero estado de la naturaleza.

Principio: El valor de la información adicional acerca del estado de la naturaleza existente disminuye a medida que la naturaleza es más predictible. En el caso extremo de certeza a priori, el valor de la información adicional es nulo.

Otra vez modificaremos el ejemplo original. El único cambio que introduciremos es un mayor riesgo económico de equivocarse acerca del verdadero estado de la naturaleza. En el ejemplo original el responsable de la decisión cree más bien que el estado E_1 es el verdadero, y sobre la base de eso decidiría a_1, que le provee el mayor valor esperado de la decisión. En este caso, si su creencia a priori fuera equivocada y el estado verdadero fuera E_2, pierde $ 20. Este es su riesgo económico en caso de equivocarse. Veremos a continuación, modificando el ejemplo, que si ese riesgo es mayor el valor de la información aumenta.

La ilustración Nº 12 contiene el ejemplo original con la única modificación de que en el resultado para la decisión a_1, si se da el estado E_2, la pérdida es de $ 50 en lugar de ser $ 20.

A. *Matriz de decisión*

Asignación del presupuesto publicitario	Comportamiento del mercado	
	E_1	E_2
a_1	$ 100	— $ 50 ← Antes 20
a_2	40	20
a_3	— 20	50
	$p_1 = 0{,}70$	$p_2 = 0{,}30$

B. *Matriz de información*

Investigación de mercado	Comportamiento del mercado	
	E_1	E_2
m_1	0,80	0,10
m_2	0,20	0,90
	1,00	1,00

12. Ejemplo de mayor riesgo económico.

Las etapas del cálculo del valor de la información dan:

1) *Valor esperado a priori de las decisiones*

$$u(a_1) = \$\ 55$$
$$u(a_2) = \$\ 34$$
$$u(a_3) = \$\ 1.$$

El valor esperado de a_1 es menor.

2) *Decisión óptima y su valor a priori*

La decisión óptima es a_1, con $V = \$ 55$.

Es menor que en el ejemplo original.

3) *Probabilidad a posteriori de los estados*

$$P(E_1/m_1) = 0{,}95$$
$$P(E_2/m_1) = 0{,}05$$
$$P(E_1/m_2) = 0{,}34$$
$$P(E_2/m_2) = 0{,}66.$$

No cambian.

4) *Valor esperado a posteriori de las decisiones*

$$u(a_1/m_1) = \$ 92{,}5 \text{ (óptimo)}$$
$$u(a_2/m_1) = \$ 39{,}0$$
$$u(a_3/m_1) = \$ 16{,}5$$

$$u(a_1/m_2) = \$ 1{,}0$$
$$u(a_2/m_2) = \$ 26{,}8 \text{ (óptimo)}$$
$$u(a_3/m_2) = \$ 25{,}2.$$

5) *Probabilidades de los mensajes*

$$P(m_1) = 0{,}59$$
$$P(m_2) = 0{,}41.$$

No cambian.

6) *Valor esperado de la decisión con información, antes de recibirla*

$$V' = \$ 65{,}5.$$

7) *Valor de la información*

$$vi = \$ 10{,}5.$$

Es mayor que en el ejemplo original.

El mayor riesgo económico de que las creencias a priori del verdadero estado de la naturaleza sean erróneas hace que la información adicional tenga más valor. Esto nos conduce al

Principio: El valor de la información es tanto mayor cuanto mayor es el riesgo económico en caso de que, elegida la alternativa óptima según la información a priori, se dé un estado de la naturaleza poco esperado.

Este principio establece que la información es una especie de *seguro* contra los acontecimientos inesperados. Cuanto mayor es la pérdida en caso de un acontecimiento improbable, tanto mayor es el valor de la información que dice algo acerca de su probabilidad o improbabilidad.

2,9. VALOR DE LA INFORMACION ORIGINAL

La información puede valer porque aporta conocimiento de un tipo diferente a los vistos anteriormente. Dado un problema de decisión y su planteo mediante la matriz de decisión, la información puede aportar la posibilidad de nuevos estados de la naturaleza no previstos o nuevas alternativas de decisión no previstas. En el problema estudiado, sería el caso en que la información consistiera en la posibilidad de un estado E_3, donde el mercado es sensible a la presencia simultánea de publicidad masiva y promoción, o la posibilidad de una alternativa a_4, como podría ser vender seis unidades al precio de cinco.

Este tipo de información original, que modifica la estructura de la decisión, puede tener gran valor porque incrementa el valor esperado de la decisión. En esencia tiene la misma virtud que la información de los ejemplos vistos: permitirnos una visión más completa y más exacta del mundo que nos rodea, del ámbito en el cual debemos tomar decisiones para encarar y resolver los problemas de la organización.

2,10. CRITICA DEL MODELO TEORICO

El modelo formado por las matrices de decisión e información y el método de cálculo del valor de la información es un modelo cuantitativo que tiene ciertas deficiencias. Las principales son las siguientes:

1) El modelo es estático en el sentido de que no toma en consideración el efecto de la acumulación de información en el tiempo. La información puede tener valor porque mejora decisiones futuras.

2) Es difícil de aplicar. En orden creciente de dificultades encontramos generalmente la estructuración de la matriz de decisión, la estimación de las probabilidades a priori y la estructuración de la matriz de información. Las probabilidades q_{ij} son difíciles de estimar a priori, y en general pueden llegar a conocerse bien después que el sistema de información está funcionando en el caso de decisiones repetidas. Así, el analista de sistemas se encuentra con la insuperable dificultad de tener que evaluar un sistema de información antes de instalarlo con información que sólo es disponible después de su instalación.

3) El modelo incluye el criterio de decisión del valor esperado que es recomendable especialmente para decisiones repetidas y de importancia económica limitada. Este no es el caso de la mayoría de las decisiones de alto nivel.

No obstante estas limitaciones, hay que reconocer la importancia del enfoque cuantitativo. En primer lugar, una cantidad de problemas de decisión de bajo nivel son usualmente formalizables y cuantificables. Ciertos problemas de control de calidad, de gestión de stocks, de mantenimiento, de finanzas y de comercialización pueden ser formalizados y el método descripto ser usado para evaluar la economicidad de la información.

Conclusiones del método.

Por otra parte el modelo cuantitativo tiene gran valor conceptual. Establece que la información tiene valor siempre y cuando nos permita mejorar la visión de un problema y tomar mejores decisiones. También establece que la información no tiene un valor absoluto, sino relativo a la dimensión económica del problema y al uso que sepa darle el analista, a la habilidad del responsable de la decisión. La información no utilizada tiene valor nulo y la información mal utilizada no tiene todo el valor que podría tener si se la utilizara bien. Como toda información tiene un costo, la información no utilizada siempre es antieconómica. Lo mismo ocurre con la información irrelevante o insignificante. Cuando la información no sirve para mejorar la calidad de las decisiones, siempre es antieconómica. Incluso en el caso de buenos sistemas de información, es más económico *no tenerlos* que *tenerlos* y *no usarlos* para mejorar la calidad de las decisiones. Desgradaciadamente, este último es un caso bastante frecuente. Sería el caso de una empresa que tiene un buen sistema de control presupuestario, con presupuestos bien construidos e informes mensuales analíticos por cuenta y responsable, y que no fuera usado por la dirección superior para detectar áreas de ineficiencia y para promover la acción ejecutiva correctora. Si la dirección superior se limita a leer (o no leer) los informes de control presupuestario y a guardarlos en un cajón, el sistema de información no tendrá valor porque seguramente nadie usará la información para mejorar los métodos de trabajo y eliminar el despilfarro, la ineficiencia o el descuido costoso. La información que no conduce a una mejor acción a través de mejores decisiones es siempre antieconómica.

III. EVALUACION CUALITATIVA DE LA INFORMACION

Al diseñar y evaluar sistemas de información, pocas veces se puede llegar a modelos formalizados que permitan calcular el valor del sistema con métodos similares a los descriptos. Por eso es necesario contar con criterios de evaluación cualitativos que nos permitan comparar sistemas alternativos o valorar un nuevo sistema por algunas de sus características más relevantes. Veremos que, además de la descripción de la información de salida del sistema, existen dimensiones tales como selectividad, tiempo de respuesta, precisión, confiabilidad, generalidad y flexibilidad que también hay que evaluar.

3,1. VOLUMEN DE INFORMACION

En general podemos afirmar que un sistema de información tiene más valor cuanto mayor sea el volumen de información que es capaz de proporcionar. La información describe ciertos aspectos de la realidad, y cuanto más analítica es podemos suponer que tanto mejor la describe. Una mejor descripción puede conducir a una mejor comprensión de la realidad y a mejores decisiones. De ahí su valor. Naturalmente, un mayor valor no significa necesariamente una mayor utilidad de la información: hay que considerar también el mayor costo de la mayor información.

Este principio sirve también para comparar sistemas de información alternativos. El sistema que puede generar el mayor volumen de información tiene, al menos desde este punto de vista, un mayor valor. El mayor valor de los sistemas automáticos de procesamiento de datos frente a los métodos manuales radica principalmente en este hecho.

De todas formas debemos tener presente que el mayor volumen de información tiene valor siempre y cuando sea significativo y los destinatarios de la información tengan el tiempo y la habilidad para utilizarlos. La información no utilizada o mal utilizada carece de valor económico. En toda organización, un análisis minucioso revela que este caso es más frecuente que lo deseable.

Cuando nos referimos a volumen de información hablamos tanto de información almacenada como de información procesada, trasmitida o computada mediante el uso de modelos elaborados. Una mayor capacidad de computación permite una búsqueda más completa de alternativas y la incorporación de nuevas variables y mayores complejidades que aumentan el realismo de los modelos utilizados en el proceso de decisión. En forma similar, la trasmisión de mayores volúmenes de información puede conducir a una mejor coordinación a través de la organización.

3,2. SELECTIVIDAD

Otra característica valiosa de un sistema de información es la *selectividad*. Un buen sistema de información evita que el responsable de las decisiones tenga que recorrer interminables planillas para seleccionar la información que necesita. El propio sistema debe realizar la mayor parte de la selección y del filtrado. De tal manera el sistema puede incrementar el contenido de la información *percibida* por el responsable. Sólo la información percibida es potencialmente útil al responsable de las decisiones.

La forma más frecuente de aumentar la selectividad de un sistema consiste en utilizar el *principio de excepción*. El mismo sistema, mediante el empleo de límites de control, determina si una cierta información debe ser presentada como salida. La finalidad es filtrar los datos que no alteran en forma significativa la visión de la naturaleza del responsable de las decisiones. Un ejemplo usual son los informes de variaciones en el costeo estándar y en el control de presupuestos: solamente se comunican a cada responsable aquellos ítems o cuentas cuyos valores reales se han alejado significativamente de los valores estándares o presupuestados. El destinatario se concentra así en los aspectos que están evolucionando marcadamente mal o marcadamente bien, sin preocuparse en absoluto de todos los demás aspectos, que están "bajo control" (es decir en o cerca de los valores anticipados como aceptables). Aquello de lo cual no se recibe información está en orden. Sólo se recibe información de lo que anda anormalmente mal o anormalmente bien. En el caso extremo, si no se recibiera información, indicaría que todo está en orden y progresa de acuerdo con lo aprobado. Este es el esquema básico de todos los sistemas de control: un responsable debe mantener ciertas variables esenciales (un presupuesto, plazos de avance, etc.) dentro de un rango de control prefijado, y el sistema de información de control le informa solamente los casos en que la realidad se ha salido de la banda de control. Esa información es entonces la base de la acción ejecutiva y correctiva: el responsable toma las medidas apropiadas para poner nuevamente el proceso bajo control, es decir, las variables esenciales dentro de los límites de control. Este es el principio de

todo sistema de planeamiento y control, como en los casos de control presupuestario, control de calidad, control de avance de proyectos especiales, control de stocks, control del ciclo económico y control de epidemias.

Otra forma de aumentar la selectividad de la información es generar informes *ad hoc* para cada responsable o grupo de responsables, en lugar de producir informes de tipo general que sirven a todos y a nadie.

La selectividad puede también incrementarse mediante una adecuada presentación de los datos. Pueden usarse formatos estándares, representaciones gráficas y recursos varios para llamar la atención sobre datos críticos (colores, asteriscos, subrayados, etc.).

3,3. TIEMPO DE RESPUESTA

Se llama *tiempo de respuesta* al intervalo requerido por el procesamiento de la información. Tres casos frecuentes son la actualización de un dato en un archivo (como, por ejemplo, la actualización del saldo de una cuenta corriente después de emitida una factura a un cliente), la búsqueda de un dato (por ejemplo, un listado de todos los empleados) y el tiempo que transcurre desde que se cierra un período hasta que se dispone de una cierta información estadística del período (por ejemplo, la finalización de un mes y el informe de la totalidad de gastos realizados en el mes).

A igualdad de los demás factores, un sistema de información es más valioso cuanto menor es su tiempo de respuesta. Una información más rápida permite una visión más actualizada del verdadero estado de la naturaleza. Esto es particularmente importante en los sistemas de control: es esencial saber con rapidez si el sistema se ha salido de control para emprender las acciones correctivas. La reducción del tiempo de respuesta mejora la efectividad del control.

La rapidez de respuesta es también importante en el caso que la información se use para proyecciones en el tiempo. La calidad de la proyección mejora con la menor antigüedad del último dato utilizado. La rapidez de respuesta es especialmente importante cuando el horizonte de proyección es reducido. Una proyección a 60 días, digamos, mejora sensiblemente al disponerse de información histórica bien actualizada. El caso extremo de información actualizada es el aceso directo a datos en tiempo real.

En el caso del planeamiento estratégico o de alto nivel, que se extiende sobre horizontes amplios, el acceso a información "al día" tiene generalmente menos importancia, porque agrega poco a la capacidad de predecir el futuro estado de la naturaleza.

3,4. PRECISION

La precisión es una dimensión valiosa de todo sistema de información. Existe *precisión* cuando la información corresponde cualitativa y cuantitativamente al ente que intenta medir. También existe precisión cuando un valor pronosticado coincide con el valor realmente observado. Un sistema de pronóstico es preciso cuando sus predicciones coinciden con la realidad, o al menos cuando no se desvían más allá de determinados límites de control que acompañan a la predicción (como el caso en que se estimen las ventas del próximo mes en 3,4 millones más o menos 0,2 millones, es decir entre 3,2 y 3,6 millones). Existen técnicas

de proyección de series cronológicas de naturaleza matemática que tienen en cuenta esta aleatoriedad en forma rigurosa (por ejemplo, la técnica de la media móvil exponencialmente ponderada).

3,5. CONFIABILIDAD

Un sistema es *confiable* cuando existe una alta probabilidad de que funcione satisfactoriamente. Cuanto más vital es la información, tanto más importa que el sistema de información sea confiable. La forma clásica de aumentar la confiabilidad de un sistema es poner otro similar, aunque independientemente, en paralelo. Ambos sistemas pueden funcionar simultáneamente, o el paralelo entrar en funcionamiento si falla el principal. En ambos casos el incremento de confiabilidad se debe a que es mucho menos probable que fallen ambos sistemas simultáneamente que uno por separado. Aunque cada sistema independientemente sea poco confiable, poniendo en paralelo un número suficientemente grande puede aumentarse la confiabilidad total hasta alcanzar cualquier grado prefijado.

Los sistemas de información que recién se instalan son por lo general poco confiable. A medida que pasa el tiempo, se acumula experiencia y se corrigen errores, el sistema va ganando en confiabilidad. Esta es la razón por la cual conviene llevar en paralelo por un cierto tiempo el sistema manual que es reemplazado por un sistema automatizado.

Aunque un sistema aparezca más costoso que otro, puede resultar más económico si se considera su mayor confiabilidad. Un sistema confiable reduce el costo de carecer de información o de disponer información atrasada en caso de falla. También un sistema más confiable puede eliminar la necesidad de un sistema de emergencia para el caso de falla.

3,6. GENERALIDAD

Un sistema general es más valioso que un sistema más particular. Un sistema *general* es aquel que puede satisfacer un amplio espectro de necesidades de información sin ninguna modificación básica. Al diseñar un sistema de información es difícil o imposible tomar en cuenta por anticipado todas las necesidades posibles futuras. Los entornos cambian y producen cambios en las necesidades de información. La generalidad de un sistema incrementa su vida útil en un medio cambiante.

Un ejemplo: un sistema de información que transforma datos históricos en proyecciones y que va ajustando los coeficientes de estacionalidad sobre la base de los datos que se van obteniendo, es más general que un sistema similar que tome como parámetros fijos los coeficientes de estacionalidad. Si la estacionalidad no varía con el transcurso del tiempo, ambos sistemas son válidos; pero si la estacionalidad se va modificando, el primer sistema sigue siendo válido mientras que el segundo debe ser modificado. El primer sistema es por lo tanto más general.

Otro ejemplo: un sistema de despacho de mercaderías que prevea entregas parciales y/o faltantes, aunque esto nunca se haya dado históricamente, es más general que un sistema alternativo que prevé como único caso que los despachos sean iguales a los pedidos. En caso de que en el futuro comiencen a aparecer entregas parciales o faltantes, el primer sistema funcionará correctamente mientras que el segundo deberá ser modificado. El primer sistema es más general.

3,7. FLEXIBILIDAD

La flexibilidad es otra propiedad valiosa de un sistema de información. Un sistema es *flexible* cuando puede ser fácilmente modificable. Como vimos antes, las modificaciones son generalmente inevitables. En un medio cambiante, las necesidades de información evolucionan. Inclusive la evolución del destinatario de la información hace que un sistema tenga que cambiar para adaptarse a sus cambiantes necesidades de información. La flexibilidad es un atributo complementario o a veces sustituto de la generalidad. Cuando los cambios son de fácil y rápida ejecución no interesa tanto la generalidad.

En los sistemas de computación, los macrolenguajes (higher-level languages) como el FORTRAN y el COBOL son los que proveen la máxima flexibilidad. Los programas simples, directos, son mucho más fácilmente modificables que los programas ingeniosos que tratan de aprovechar al máximo la eficiencia de la máquina. Un programa escrito en un macrolenguaje es más flexible que un programa escrito en lenguajes menos evolucionados o en lenguaje de máquina.

La flexibilidad también crece cuando los programas son modulares, es decir, cuando están compuestos con módulos o subrutinas relativamente independientes que se intercomunican a través de un número limitado de parámetros preestablecidos. El cambio en una parte del sistema sólo puede afectar al cambio de las otras a través de esos parámetros. Todos los demás cambios son internos a algún módulo y por lo tanto no se trasmiten a las demás partes del sistema.

Las técnicas para lograr flexibilidad son costosas porque involucran diseños más cuidadosos, programación más extensa y capacidad de máquina menos aprovechada. Estos costos tienden, sin embargo, a ser despreciables cuando se los compara con los costos menos evidentes y más ocultos de un sistema inflexible.